

川西北地区 ST3 井泥盆系油气地球化学特征及来源

魏国齐^{1,2}, 董才源^{1,2}, 谢增业^{1,2}, 李 剑^{1,2},
国建英^{1,2}, 张 璐^{1,2}, 杨春龙^{1,2}, 戴 鑫³

(1. 中国石油勘探开发研究院, 河北廊坊 065007; 2. 中国石油天然气集团公司天然气成藏与开发重点实验室, 河北廊坊 065007; 3. 中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院, 四川成都 610041)

摘要:对比 ST3 井泥盆系油气与相关源岩地球化学特征, 结合地质研究, 明确泥盆系油气来源。结果表明: ST3 井泥盆系观雾山组沥青饱和烃分布呈现双峰特征, $Pr/Ph=0.56$; 三环萜烷分布以 C_{23} 为主峰, 五环三萜烷以 C_{30} 藿烷为主峰, $Ts/Tm=0.82$, $C_{31} \sim C_{35}$ 升藿烷系列分布齐全且近于呈正常降序分布, 伽马蜡烷丰度高; 孕甾烷和升孕甾烷含量丰富, 规则甾烷中以 C_{27} 甾烷占优势; ST3 井泥盆系两份天然气都是干气, 以烃类为主, 甲烷含量高, 体积分数分别为 94.42%、96.96%, C_2H_6 、 C_3H_8 含量低, 干燥系数大, 非烃气体含量低, H_2S 含量仅为 $0.01 \sim 0.022 \text{ g/cm}^3$; 甲烷碳同位素均值分别为 -31.9‰ 、 -28.5‰ , 乙烷碳同位素相对较轻, 甲烷呈正碳同位素分布序列; 甲烷氢同位素为 -139‰ 、 -138‰ ; 对比综合显示 ST3 井泥盆系油气主要来源于筇竹寺组泥岩, 同时下二叠统泥灰岩是重要补充。

关键词:川西北地区; ST3 井; 泥盆系; 地球化学特征; 油气来源

中图分类号: T122.1 **文献标志码:** A

引用格式: 魏国齐, 董才源, 谢增业, 等. 川西北地区 ST3 井泥盆系油气地球化学特征及来源[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2019, 43(4): 31-39.

WEI Guoqi, DONG Caiyuan, XIE Zengye, et al. Oil and gas geochemical characteristics and source of Devonian of well ST3 in Northwest Sichuan Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2019, 43(4): 31-39.

Oil and gas geochemical characteristics and source of Devonian of well ST3 in Northwest Sichuan Basin

WEI Guoqi^{1,2}, DONG Caiyuan^{1,2}, XIE Zengye^{1,2}, LI Jian^{1,2},
GUO Jianying^{1,2}, ZHANG Lu^{1,2}, YANG Chunlong^{1,2}, DAI Xin³

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Langfang 065007, China;
2. Key Laboratory of Gas Reservoir Formation and Development, CNPC, Langfang 065007, China;
3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development of Southwest Oil and Gas Field Company, PetroChina, Chengdu 610041, China)

Abstract: Based on analysis of geochemical characteristics of the Devonian asphalt and natural gas in well ST3, characteristics of the oil and gas of the Devonian were compared with relative source rocks. Combined with geological evidence, the source of the Devonian oil and gas in well ST3 were identified. The following are the results: Saturated hydrocarbon distribution of Devonian asphalt in well ST3 has double peaks and the Pr/Ph ratio is 0.56. C_{23} is the main peak of the tricyclic terpane distribution, and C_{30} hopanoid is the main peak of the pentacyclic triterpane. The Ts/Tm content is 0.82. The $C_{31} \sim C_{35}$ hopane series is complete and the distribution declines. Gammacerane is high in abundance. Pregnane is rich in abundance. C_{27} regular sterane takes advantage in regular sterane content. The Devonian natural gas of well ST3 is dry gas, mainly composed of hydrocarbons. The content of methane is 94.42% and 96.96%, while the content of C_2H_6 and C_3H_8 is

收稿日期: 2018-10-06

基金项目: 国家科技重大专项(2016ZX05007-002)

作者简介: 魏国齐(1964-), 男, 教授级高级工程师, 博士, 研究方向为油气地质综合研究与勘探部署。E-mail: weigq@petrochina.com.cn.

通信作者: 董才源(1986-), 男, 工程师, 博士, 研究方向为天然气地质与油气成藏。E-mail: dongcen69@petrochina.com.cn.

small. The drying coefficient is high. The non-hydrocarbon gas content is very low, in which the H_2S content is only $0.01 \sim 0.022 \text{ g/cm}^3$. The average carbon isotope of CH_4 and C_2H_6 is -31.9‰ and -28.5‰ respectively. The hydrogen isotope of methane is -139‰ and -138‰ . The comparisons show that the Devonian oil and gas in well ST3 were mainly derived from the mudstone of the Qiongzhusi Formation, while the Lower Permian marble is an important supplement.

Keywords: Northwest Sichuan Basin; well ST3; Devonian; geochemical characteristics; oil and gas source

2016 年 ST3 井首次在泥盆系观雾山组喜获日产 $11.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的高产气流,川西北地区油气勘探取得重要进展^[1-2]。自 2007 年周文等^[3-4]首次在川西北地区野外天井山构造发现泥盆系油砂以来,专家们对川西北地区野外泥盆系油砂特征进行过大量总结,对于泥盆系油砂的来源也提出多种观点,主要有 3 种:①认为泥盆系油浸砂岩的形成与下寒武统泥岩有关,以刘春等为代表^[5];②王广利等^[6]提出川西北龙门山山前带不同时代固体沥青和油砂来源于震旦系陡山沱组烃源岩;③提出泥盆系油砂为混源成因,邓虎成等^[4]认为是早寒武世和早志留世黑色页岩混源,饶丹等^[7]认为是由早期筇竹寺组泥岩和后期上古生界源岩共同充注。2016 年之前川西北地区泥盆系无重要勘探发现,对于川西北地区泥盆系地下油气来源的研究尚无报道,以野外泥盆系油砂为目标的研究成果并不能充分说明地下油气的来源,一方面因为野外露头的油砂样品易受到氧化

降解等多方面外界因素的影响,其对于地下油气来源的指示意义有待实践检验;另一方面,川西北周缘地区泥盆系受天井山古隆起影响较大,与盆地内部泥盆系在构造演化及沉积过程等方面不尽相同。除此之外,受勘探程度的限制,早期研究时泥盆系勘探尚未取得突破,缺少井下天然气方面数据的重要支撑。笔者一方面对 ST3 井泥盆系观雾山组井下储层沥青地球化学特征进行深入分析,获取油源对比的直接证据,另一方面首次利用 ST3 井泥盆系观雾山组天然气组分及同位素数据对气源进行深刻解剖,基于井下储层沥青、天然气地球化学特征的综合论证,再结合地质条件分析使得川西北地区地下油气来源的证据链更加系统且完善。

1 区域地质背景

图 1 为川西北地区泥盆系沉积前地质图。图 2 为川西北地区震旦系—上古生界地层柱状图。

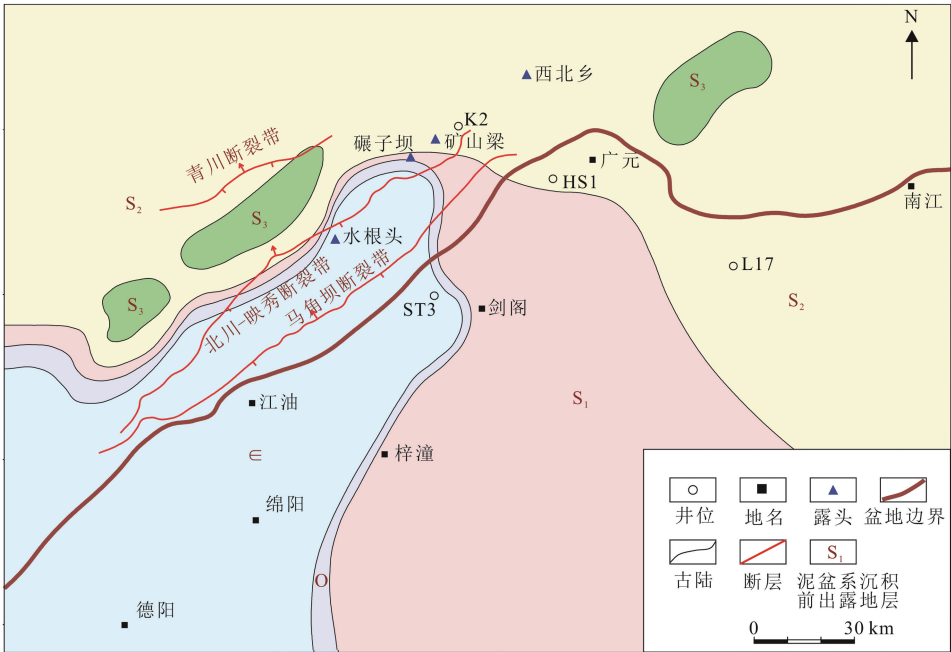


图 1 川西北地区泥盆系沉积前地质图

Fig.1 Geological map of Northwest Sichuan Basin before Devonian deposition

川西北地区四周被数条构造带围绕,西侧为龙门山构造带,北侧为米仓山构造带,东北侧为大巴山构造带,东侧为川东高陡构造带,主要包括龙门山逆

冲推覆构造带北段、前陆冲断滑脱构造带北段和前陆褶皱带北段。泥盆系地层自上而下可分为上统茅坝组、沙窝子组,中统观雾山组、金宝石组、养马坝组,

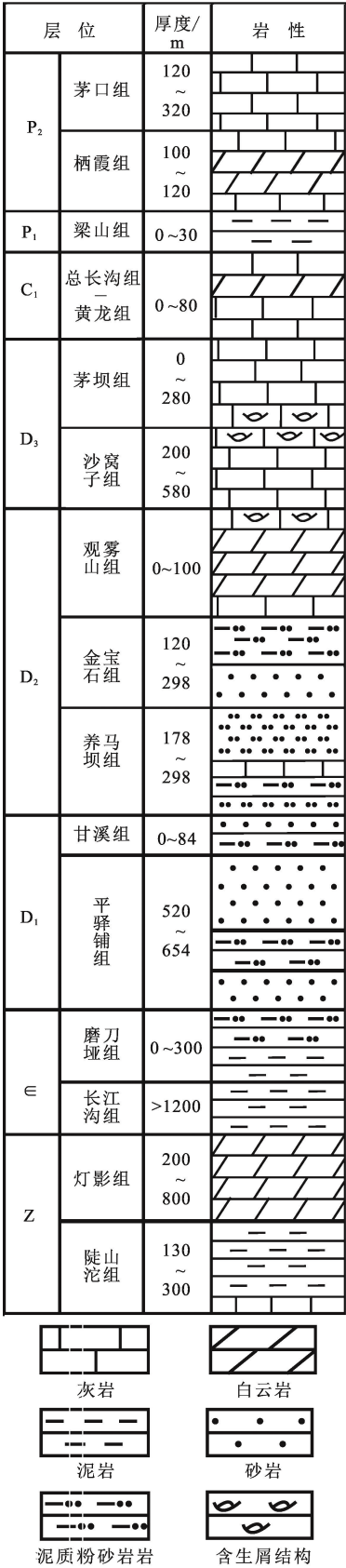


图 2 川西北地区震旦系—上古生界地层柱状图

Fig.2 Stratigraphic column from Sinian to Upper Paleozoic of Northwest Sichuan Basin

下统甘溪组、平驿铺组。其中观雾山组是主要勘探目的层位,在盆地内部川西北地区厚度约为 0~100 m,主要岩性为灰岩,褐灰色为主,深灰、浅灰色次之,泥晶结构,部分粉晶结构,性硬、脆,普见生物碎屑,部分地区有白云岩存在,是有利的储层(图 2)。

2 储层沥青地球化学特征

ST3 井泥盆系观雾山组钻遇厚度为 67 m,以灰—深灰色生屑云岩、生物云岩为主,底部含小段灰岩,储层中溶孔溶洞发育,孔洞中沥青大量充填,碳沥青含量最高可达 2.7%。针对 ST3 井沥青样品进行饱和烃色谱、色质,芳烃色质实验分析,饱和烃总离子流图分析表明,ST3 井泥盆系观雾山组沥青饱和烃碳数为 $nC_{14} \sim nC_{30}$,呈现双峰特征,以 nC_{17} 和 nC_{25} 为主峰,双峰特征是混源的重要标志,其中前峰高于后峰,意味着在沥青混合来源中是以腐泥型母质为主,腐殖型母质为辅, $Pr/Ph=0.56$,是强还原沉积环境的重要标志, $nC_{17}/Pr=1.61$ 、 $nC_{18}/Ph=0.8$, nC_{17} 较姥鲨烷有优势,植烷较 nC_{18} 有优势。从萜烷分布来看,ST3 井泥盆系沥青中三环萜烷分布以 C_{23} 为主峰,具有较高含量的 C_{24} 四环萜烷。在五环三萜烷中,以 C_{30} 藿烷为主峰, $Ts/Tm=0.82$,说明具有较高成熟度, $C_{31} \sim C_{35}$ 升藿烷系列分布齐全且近于呈正常降序分布,不同于泥盆系野外露头油砂中的 C_{35} 升藿烷明显高于 C_{34} 升藿烷的翘尾现象^[5-6],此为井下储层沥青与野外露头油砂来源不一致的重要证据,伽马蜡烷丰度较高,说明是还原环境。甾烷特征方面,ST3 井泥盆系沥青孕甾烷和升孕甾烷含量丰富,反映还原静滞的沉积水体环境,多数样品规则甾烷呈 $C_{27}>C_{29}>C_{28}$ 分布特征,以 C_{27} 甾烷占优势,说明其母质来源主要是浮游生物等低等生物。综上所述,ST3 井沥青地球化学参数综合指示,沥青主要形成于海相还原沉积环境,成熟度较高,由混源形成且以腐泥型母质来源为主(图 3)。

3 天然气地球化学特征

ST3 井泥盆系观雾山组测井解释气层 3 层,累积厚度 18.7 m,测试日产气 $11.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。从 ST3 井泥盆系观雾山组测试时获取的两个高压天然气样品来看,天然气组成以烃类气体为主, CH_4 含量高,体积分数分别为 94.42% 和 96.96%, C_2H_6 含量低,体积分数分别为 0.20% 和 0.23%, C_3H_8 含量低,体积分数约为 0.01%, C_1/C_{1-5} 大于 0.99,呈高演化的特征,为典型干气。非烃气体少,主要包括 N_2 、 CO_2

和少量 H_2 、 He 、 H_2S ,其中以 N_2 和 CO_2 为主, N_2 体积分数为 0.61% 和 2.38%,为微—低含量, CO_2 体积分数为 2.12% 和 2.45%,属于中含量, He 和 H_2 含量极少,测试现场 H_2S 含量仅为 0.01 ~ 0.022 g/

cm^3 。从天然气碳氢同位素来看,天然气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 为 -31.9‰ , $\delta^{13}\text{C}_2$ 相对较轻,分别为 -28.4‰ 和 -28.6‰ ,甲乙烷碳同位素值呈正常分布序列, $\delta\text{D}_{\text{CH}_4}$ 分别为 -138‰ 、 -139‰ (表 1)。

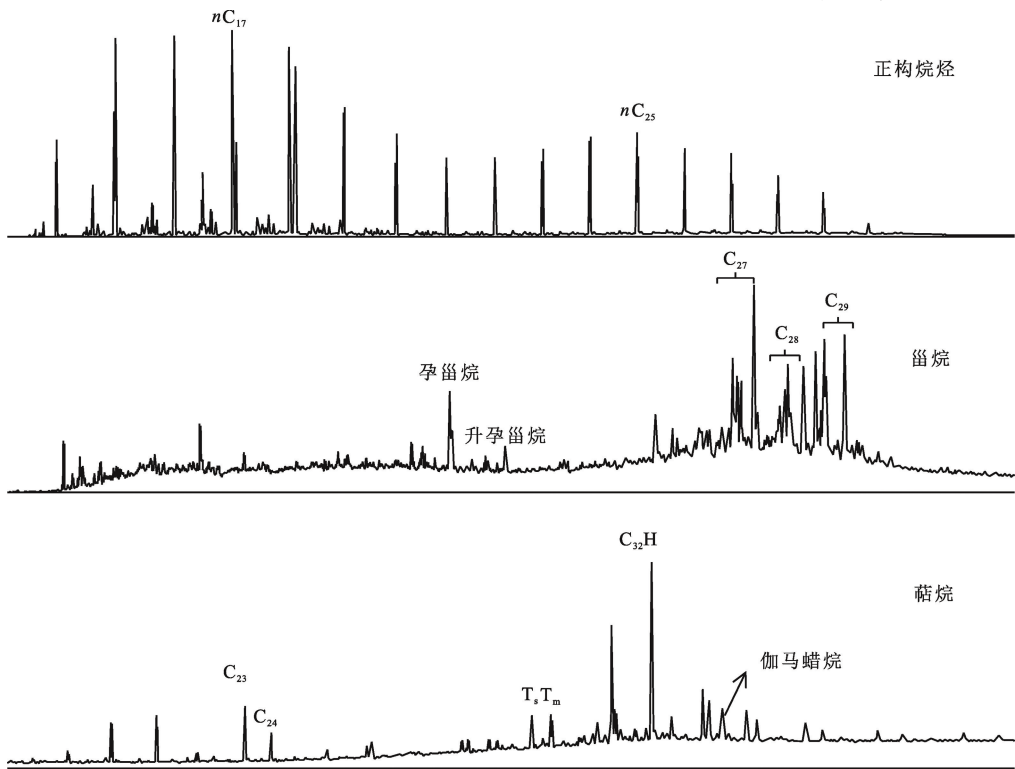


图 3 ST3 井泥盆系沥青饱和烃色谱、质谱图

Fig.3 Saturated hydrocarbon chromatography and mass spectrometry of reservoir asphalt in well ST3

表 1 ST3 井泥盆系高压天然气组分及碳氢同位素数据

Table 1 Composition and carbon isotope of Devonian in well ST3

气样	主要组分体积分数/%							同位素/‰		
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	CO ₂	N ₂	He	H ₂	δ ¹³ C ₁	δ ¹³ C ₂	δD _{CH₄}
1	96.96	0.23	0.010	2.12	0.61	0.02	0.05	-31.9	-28.4	-139
2	94.42	0.20	0.011	2.45	2.38	0.02	0.01	-31.9	-28.6	-138

4 油气源对比

4.1 相关烃源分析

川西北地区震旦系—上古生界自下而上主要发育陡山沱组泥岩、筇竹寺组泥岩、下二叠统泥灰岩三套优质烃源岩^[8-10],除此之外,泥盆系观雾山组生屑灰岩和养马坝组泥灰岩也是可能烃源岩(图 1)。地层接触关系上看,泥盆系直接覆盖于寒武系之上(图 2),同时深大断裂的发育连接了筇竹寺组优质烃源岩与泥盆系储层^[11-12],筇竹寺组泥岩具备为泥盆系供烃的条件,而且筇竹寺组泥岩在早三叠世时开始大量生烃,此时泥盆系优质储层已经形成,可以作为储存油气的重要场所。下二叠统泥灰岩位于泥

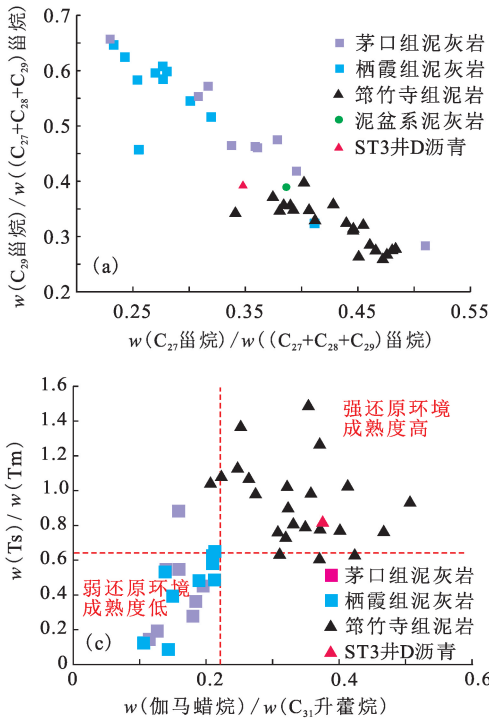
盆系储层之上,中间间隔石炭系地层而无法直接接触,但川西北地区广泛发育次级断裂^[11-12],既可以作为输导体系沟通下二叠统泥灰岩烃源岩与泥盆系储层,同时也可以造成断层两侧的源储直接对接,下二叠统泥灰岩具备为泥盆系提供气源的地质前提。陡山沱组烃源岩与泥盆系储层在纵上相距较远,中间发育有巨厚的筇竹寺组烃源岩。陡山沱组生成的油气通过断裂到达泥盆系必须通过筇竹寺组泥岩,所以陡山沱组烃源岩作为泥盆系气藏的主要供烃层系较难实现,而且从生烃史分析,陡山沱组烃源岩在奥陶纪前后达到生油高峰,此时泥盆系储层尚未沉积。综合分析,陡山沱组泥岩不能作为泥盆系气藏的主要气源层。滕格尔等^[13]研究表明,泥盆系碳酸

盐岩烃源岩 TOC 多小于 0.3%,属于较差—非烃源岩,而中下泥盆统局部夹有的泥页岩分布和规模极小,因此泥盆系烃源岩对于泥盆系天然气成藏的贡献有限。

上述分析表明,筇竹寺组泥岩和下二叠统泥灰岩两套烃源岩与泥盆系气藏相关,泥盆系自身烃源岩也可能有微弱贡献,在明确以上烃源岩为对比对象的基础上,利用 ST3 井储层沥青地球化学特征和天然气地球化学特征,采用油源对比和气源对比相结合的方法,结合 ST3 井地质条件,深入探讨 ST3 井泥盆系油气来源。

4.2 油源对比

储层沥青是石油裂解后在储层中的残留物,其中包含有大量的原始有效信息,储层沥青与源岩的对比结果能够较好地反映油气的来源^[14-15]。储层沥青及源岩中能够检测到大量饱和烃、芳烃中的生物标志化合物,其对于有机质的生物来源特征、有机质的沉积环境意义、有机质的成熟演化特征等具有重要的指示作用^[16]。



4.2.1 正构烷烃

ST3 井泥盆系观雾山组沥青饱和烃分布呈现以 nC_{17} 和 nC_{25} 为高点的双峰特征与筇竹寺组泥岩的前峰及下二叠统泥灰岩的后峰特征皆有区别(图 3),说明 ST3 井泥盆系观雾山组沥青受到筇竹寺组泥岩和下二叠统泥灰岩的共同影响,但双峰当中前峰高于后峰,且 ST3 井泥盆系观雾山组沥青的低姥植比与筇竹寺组泥岩更为相似而与下二叠统泥灰岩、泥盆系泥灰岩不同,这都表明 ST3 井泥盆系观雾山组沥青以筇竹寺组泥岩为主要气源岩。

4.2.2 甾烷

规则甾烷特征主要反映母质来源,筇竹寺组泥岩母质类型为腐泥型,表现为 C_{27} 规则甾烷优势,下二叠统泥灰岩、泥盆系泥灰岩母质类型为偏腐殖型^[13],表现为 C_{29} 规则甾烷优势,ST3 井泥盆系储层沥青 C_{27} 规则甾烷与 C_{29} 规则甾烷丰度较为相近,但更接近于筇竹寺组泥岩(图 3、图 4(a)),反映出 ST3 井泥盆系储层沥青为混源且更倾向于泥岩来源的特征。

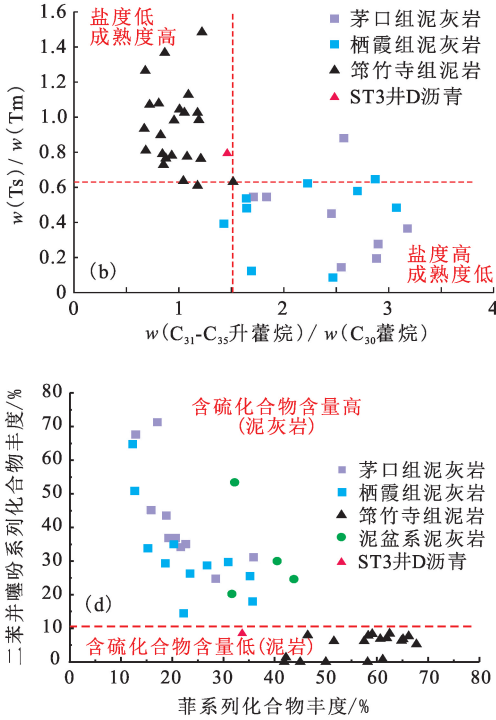


图 4 ST3 井泥盆系储层沥青与相关烃源岩生标对比

Fig. 4 Comparison of typical biomarker from reservoir asphalt of ST3 and source rock

4.2.3 藿烷

$w(Ts)/w(Tm)$ 主要反映成熟度,ST3 井泥盆系储层沥青 $w(Ts)/w(Tm)$ 为 0.82,与筇竹寺组泥岩(主要分布于 0.6~1.5)相匹配,与下二叠统泥灰岩(主要小于 0.6)有所区别; $w(伽马蜡烷)/w(C_{31} 升藿烷)$

是反映沉积环境盐度的重要指标,ST3 井泥盆系储层沥青 $w(C_{31-35} 升藿烷)/w(C_{30} 藿烷)$ 是 1.58,展现出其与下伏筇竹寺组泥岩相似的低盐度沉积环境; $w(伽马蜡烷)/w(C_{31} 升藿烷)$ 是反映沉积环境的还原程度重要指标,ST3 井泥盆系储层沥青 $w(伽马蜡烷)/w$

(C_{31} 升藿烷) 为 0.41, 表现为强还原沉积环境, 与筇竹寺组泥岩泥岩相同, 与下二叠统泥灰岩不同; 下二叠统泥灰岩中发现特有的 C_{35} 升藿烷高于 C_{34} 升藿烷的明显翘尾现象, 筇竹寺组泥岩中未发现此现象, ST3 井泥盆系储层沥青此值接近 1, 说明是受到两种烃源岩混源的影响所致(图 4(b), (c))。

4.2.4 芳 烃

二苯并噻吩系列化合物是反映含硫化合物含量的重要指标, ST3 井泥盆系储层沥青中样品二苯并噻吩系列化合物体积分数为 7.2%, 与泥岩相似, 与泥灰岩的高含量特点有显著区别。菲系列化合物是反映成熟度的重要指标, ST3 井泥盆系储层沥青中该系列化合物丰度为 34.9%, 与相对更高成熟度的筇竹寺组泥岩更为接近(图 4(d))。

综合以上油源对比结果, ST3 井泥盆系储层沥青地球化学特征与筇竹寺组泥岩最为相似, 说明 ST3 井泥盆系储层沥青主要来源于筇竹寺组泥岩, 但同时有部分指标显示下二叠统泥灰岩对于泥盆系储层沥青有重要贡献, 也不排除泥盆系自身烃源岩的微弱贡献。

4.3 气源对比

ST3 井泥盆系天然气乙烷碳同位素值为 -28.4‰ 、 -28.6‰ , 较戴金星等^[17-19]提出的油型气与煤型气分界线 -28‰ 略轻, 表现为偏腐泥型气的特征, 但与高磨地区龙王庙组天然气等典型筇竹寺组泥岩来源的腐泥型气相比要明显偏重, 说明除筇竹寺组泥岩外, 还受到下二叠统泥灰岩贡献。

ST3 井泥盆系天然气乙烷碳同位素与 ST3 井栖霞组天然气在反映气源岩母质继承性特征的乙烷碳同位素方面基本一致。这是川西北泥盆系与下二叠统天然气同源的重要证据。两套气层可能同样是由筇竹寺组泥岩通过断层供烃, 但 ST3 井泥盆系天然气甲烷碳、氢同位素较 ST3 井栖霞组天然气($\delta^{13}C_1$ 平均为 -30‰ , δD_{CH_4} 平均为 -136.7‰) 略轻^[20]。这可能与栖霞组储层与下二叠统泥灰岩直接接触, 受到下二叠统泥灰岩影响更大, 造成 ST3 井栖霞组天然气甲烷碳、氢同位素略重(图 5)。

干酪根油气生成理论指示: $\delta^{13}C_{\text{干酪根}} > \delta^{13}C_{\text{沥青质}} > \delta^{13}C_{\text{非烃}} > \delta^{13}C_{\text{芳烃}} > \delta^{13}C_{\text{油}} > \delta^{13}C_{\text{饱和烃}} > \delta^{13}C_{\text{烷烃气}}$, 如果不依次序而发生倒转, 说明非同一烃源岩的衍生物。同一烃源岩的衍生物中烃源岩干酪根的碳同位素势必重于其所形成的天然气甲乙烷的碳同位素, 并且干酪根生成油气后, 其产物的碳同位素必将产生分馏^[21-22]。李剑等^[23]曾用川西北上寺地区

下三叠统飞仙关组低熟泥灰岩样品进行了密封体系的高压釜热模拟实验, 得出在干气阶段(镜质体反射率 $R_o = 2\% \sim 3\%$), 模拟产物的 $^{13}C_1$ 从 -32‰ 变重到 -28.7‰ , 即在过成熟的干气阶段, 与原始干酪根的 $^{13}C_{\text{干酪根}}$ (-27.5‰) 相比, $^{13}C_1$ 的分馏度可达 $1\text{‰} \sim 4.5\text{‰}$ 。

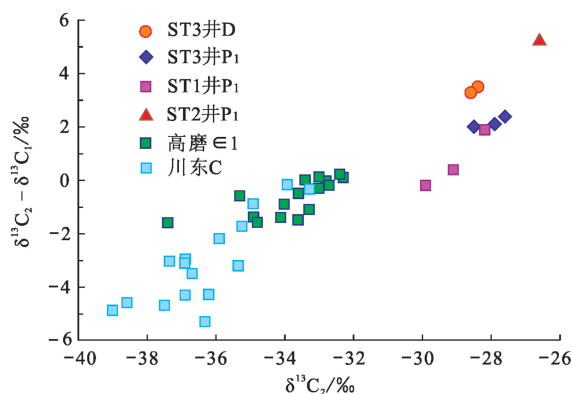


图 5 ST3 井泥盆系与下二叠统及龙王庙组天然气碳同位素对比

Fig. 5 Comparison of natural gas carbon isotope of Devonian in well ST3 and other formation

如图 6 所示, 筇竹寺组泥岩干酪根碳同位素主要分布于 $-36.8\text{‰} \sim -29.9\text{‰}$, 栖霞组泥灰岩干酪根碳同位素主要分布于 $-34.2\text{‰} \sim -27.5\text{‰}$, 茅口组泥灰岩干酪根碳同位素主要分布于 $-33.1\text{‰} \sim -27.1\text{‰}$, ST3 井泥盆系天然气甲烷碳同位素为 -31.9‰ , 较筇竹寺组泥岩最重的干酪根碳同位素分馏 2‰ , 完全符合前人提出的甲烷 $1\text{‰} \sim 4.5\text{‰}$ 分馏度的范围。ST3 井泥盆系天然气甲烷碳同位素较下二叠统泥灰岩干酪根碳同位素分馏 4.8‰ , 略超出 $1\text{‰} \sim 4.5\text{‰}$ 分馏度范围。以上两点比较说明筇竹寺组泥岩主要为泥盆系气藏供烃更加符合同位素分馏规律。但同时也观察到, ST3 井泥盆系天然气乙烷碳同位素为 -28.4‰ 、 -28.6‰ , 较筇竹寺组泥岩干酪根碳同位素最大值还要重, 根据干酪根油气生成理论, 泥盆系天然气不能完全由筇竹寺组泥岩供烃, 下二叠统泥灰岩也有重要贡献。

油气源综合对比显示, ST3 井泥盆系油气主要源于筇竹寺组泥岩, 同时下二叠统泥灰岩也有重要贡献, 不排除泥盆系自身烃源岩的微弱影响。川西北地区位于绵竹-长宁古裂隙槽东侧, 筇竹寺组厚度大, 最厚处达 300 m, 有机质类型为 I 型, 属于优质烃源岩。同时, 川西北地区在下二叠统沉积时是海水入侵的重要方向之一, 由此形成约 30 ~ 140 m 厚的下二叠统泥灰岩, 有机质类型为 I - II₁ 型, 烃

源岩品质好。川西北地区泥盆系气源十分充足,是拓展勘探的重要地区之一。

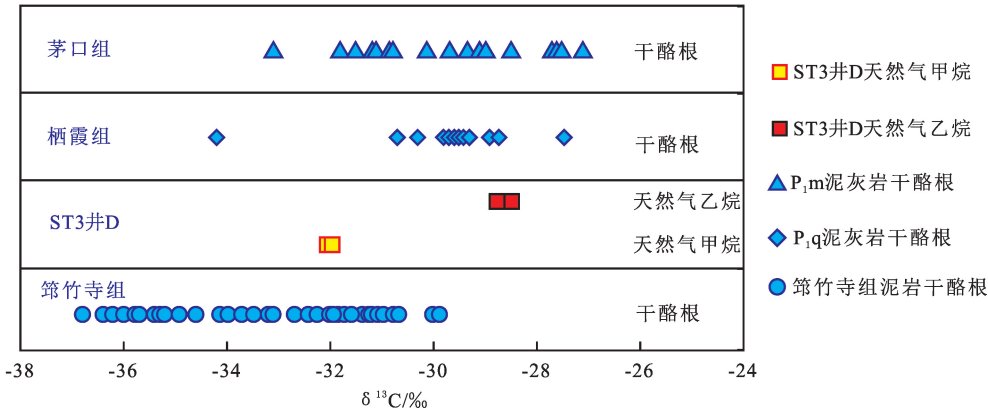


图 6 ST3 井天然气甲乙烷-源岩干酪根碳同位素对比

Fig. 6 Comparison of carbon isotope of methane, ethane of well ST3 and source rock kerogen

5 复合成藏模式

川西北地区泥盆系油气的形成主要涵盖古生新储、新生古储两种聚集模式(图 7)。川西北地区大量发育的深大断裂作为输导体系,深层古老的筇竹寺组泥岩烃源岩生成的石油有效地汇聚于早先形成的泥盆系储层中,经过后期裂解成气聚集成藏,此为古生新储成藏模式;后期强烈的构造

运动形成多系列的次级断层,一方面断层两盘下二叠统泥灰岩烃源岩与泥盆系储岩层直接对接,使得下二叠统烃源岩生成的油气通过侧向运移进入泥盆系储层中运聚成藏,另一方面下二叠统泥灰岩生成的油气可以通过断层向下充注至泥盆系成藏,此为新生古储成藏模式。古生新储为主,新生古储为辅,两种成藏模式相互补充,共同形成泥盆系气藏复合成藏模式。同时,泥盆系自身烃源岩对于油气成藏也可能有微弱贡献。

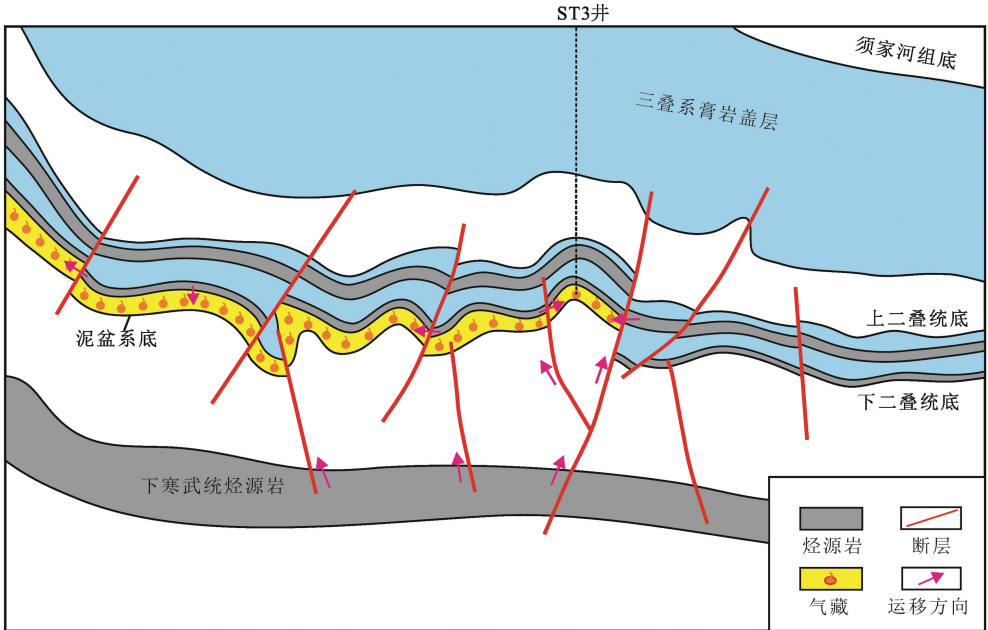


图 7 ST3 井天然气成藏模式

Fig. 7 Natural gas accumulation model of ST3

6 结 论

(1) 沥青饱和烃分布呈现双峰特征、低姥植比;三环萜烷分布以 C₂₃ 为主峰,五环三萜烷分布以 C₃₀

藿烷为主峰,伽马蜡烷丰度高;规则甾烷以 C₂₇ 甾烷占优势。天然气甲烷含量高,干燥系数大,非烃气体含量低,乙烷碳同位素相对较轻,甲乙烷呈正碳同位素分布序列。

(2)ST3井泥盆系油气主要源于筇竹寺组泥岩,同时下二叠统泥灰岩也有重要贡献,不排除泥盆系烃源岩的微弱贡献。

(3)总结川西北地区ST3井泥盆系发育古生新储、新生古储两种成藏模式,古生新储为主、新生古储为辅,两种成藏模式相互补充,共同形成泥盆系气藏复合成藏模式。同时,泥盆系自身烃源岩对于其油气成藏也可能有微弱影响。

(4)川西北地区泥盆系气源十分充足,是拓展勘探的重要地区之一。

参考文献:

- [1] 沈平,张健,宋家荣,等.四川盆地中二叠统天然气勘探新突破的意义及有利勘探方向[J].天然气工业,2015,35(7):1-6.
SHEN Ping, ZHANG Jian, SONG Jiarong, et al. Significance of new breakthrough and favorable targets of gas exploration in the Middle Permian system, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2015, 35(7): 1-6.
- [2] 魏国齐,刘德来,张林,等.四川盆地天然气分布规律与有利勘探领域[J].天然气地球科学,2005,16(4):437-442.
WEI Guoqi, LIU Delai, ZHANG Lin, et al. The exploration region and natural gas accumulation in Sichuan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(4): 437-442.
- [3] 周文,邓虎成,丘东洲,等.川西北天井山构造泥盆系古油藏的发现及意义[J].成都理工大学学报(自然科学版),2007,34(4):413-420.
ZHOU Wen, DENG Hucheng, QIU Dongzhou, et al. The discovery and significance of the Devonian paleo-reservoir in Tianjingshan structure of the Northwest Sichuan, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2007, 34(4): 413-420.
- [4] 邓虎成,周文,丘东洲,等.川西北天井山构造泥盆系油砂成矿条件与资源评价[J].吉林大学学报(地球科学版),2008,38(1):69-75.
DENG Hucheng, ZHOU Wen, QIU Dongzhou, et al. Oil sand-forming conditions and evaluation on resource of oil sand in Tianjingshan structure in Northwest Part of Sichuan Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2008, 38(1): 69-75.
- [5] 刘春,张惠良,沈安江,等.川西北地区泥盆系油砂岩地球化学特征及成因[J].石油学报,2010,31(2):253-260.
LIU Chun, ZHANG Huiliang, SHEN Anjiang, et al. Geochemistry characteristics and origin of the Devonian oil-sandstone in the northwest of Sichuan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(2): 253-260.
- [6] 王广利,王铁冠,韩克猷,等.川西北地区固体沥青和油砂的有机地球化学特征与成因[J].石油实验地质,2014,36(6):731-743.
WANG Guangli, WANG Tieguan, HAN Keyou, et al. Organic geochemical characteristics and origin of solid bitumen and oil sands in northwestern Sichuan[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(6): 731-743.
- [7] 饶丹,秦建中,腾格尔,等.川西北广元地区海相层系油苗和沥青来源分析[J].石油实验地质,2008,30(6):596-599.
RAO Dan, QIN Jianzhong, TENG Geer, et al. Source analysis of oil seepage and bitumen originating from marine layer strata in Guangyuan area, the Northwest Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30(6): 596-599.
- [8] 杨光,李国辉,李楠,等.四川盆地多层系油气成藏特征与富集规律[J].天然气工业,2016,36(11):1-10.
YANG Guang, LI Guohui, LI Nan, et al. Hydrocarbon accumulation characteristics and enrichment laws of multi-layered reservoirs in the Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2016, 36(11): 1-10.
- [9] 蔡开平,王应蓉,杨跃明,等.川西北广旺地区二、三叠系烃源岩评价及气源初探[J].天然气工业,2003,23(2):10-16.
CAI Kaiping, WANG Yingrong, YANG Yueming, et al. Evaluation of hydrocarbon source rocks in Permian and Triassic at Guangyuan-Wangcang Region in Northwest Sichuan Basin and a primary discussion on gas source[J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(2): 10-16.
- [10] 黄籍中.四川盆地阳新灰岩生油气问题探讨[J].石油学报,1984,5(1):9-17.
HUANG Jizhong. On the occurrence of oil and gas in the Yangxin limestone series in Sichuan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 1984, 5(1): 9-17.
- [11] 王鼎,魏国齐,杨威,等.川西北构造样式特征及其油气地质意义[J].中国石油勘探,2016,21(6):26-32.
WANG Nai, WEI Guoqi, YANG Wei, et al. Characteristics and geological significance of structural patterns in Northwest Sichuan Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(6): 26-32.
- [12] 李卿,李忠权.川西北天井山构造变形特征与物理模拟[J].成都理工大学学报(自然科学版),2012,39(6):665-670.
LI Qing, LI Zhongquan. Structural and deforming characteristics and related physical simulation of Tianjingshan in Northwest Sichuan, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science and Technology Edition), 2012, 39(6): 665-670.

- dition), 2012, 39(6): 665-670.
- [13] 滕格尔, 秦建中, 付小东, 等. 川西北地区海相油气成藏物质基础: 优质烃源岩[J]. 石油实验地质, 2008, 30(5): 478-483.
- TENG Geer, QIN Jiangzhong, FU Xiaodong, et al. Basic conditions of marine hydrocarbon accumulation in Northwest Sichuan Basin: high quality source rocks[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30(5): 478-483.
- [14] 郝彬, 胡素云, 黄士鹏, 等. 四川盆地磨溪地区龙王庙组储层沥青的地球化学特征及其意义[J]. 现代地质, 2016, 30(3): 614-626.
- HAO Bin, HU Suyun, HUANG Shipeng, et al. Geochemical characteristics and its significance of reservoir bitumen of Longwangmiao Formation in Moxi Area, Sichuan Basin[J]. Geoscience, 2016, 30(3): 614-626.
- [15] 魏国齐, 谢增业, 宋家荣, 等. 四川盆地川中古隆起震旦系—寒武系天然气特征及成因[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(6): 702-711.
- WEI Guoqi, XIE Zengye, SONG Jiarong, et al. Features and origin of natural gas in the Sinian-Cambrian of central Sichuan paleo-uplift, Sichuan Basin, SW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(6): 702-711.
- [16] 黄东, 刘全洲, 杨跃明, 等. 川西北部地区下二叠统茅口组油苗地球化学特征及油源研究[J]. 石油实验地质, 2011, 33(6): 617-623.
- HUANG Dong, LIU Quanzhou, YANG Yueming, et al. Geochemical characteristics of oil seepage and studies of oil source in Maokou Formation, Lower Permian, Northwestern Sichuan[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(6): 617-623.
- [17] 戴金星. 中国天然气地质学(卷二)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996: 10-17.
- [18] 戴金星. 天然气地质和地球化学论文集(卷三)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 133-139.
- [19] 郑平, 施雨华, 邹春艳, 等. 高石梯—磨溪地区灯影组、龙王庙组天然气气源分析[J]. 天然气工业, 2014, 34(3): 50-54.
- ZHENG Ping, SHI Yuhua, ZOU Chunyan, et al. Natural gas sources in the Dengying and Longwangmiao Fms in the Gaoshiti-Maoxi area, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(3): 50-54.
- [20] 董才源, 谢增业, 裴森奇, 等. 四川盆地中二叠统天然气地球化学特征及成因判识[J]. 断块油气田, 2018, 25(4): 450-454.
- DONG Caiyuan, XIE Zengye, PEI Senqi, et al. Natural gas geochemical characteristics and genetic type identification of Middle Permian in Sichuan Basin[J]. Fault-block Oil & Field, 2018, 25(4): 450-454.
- [21] 唐小强, 黄光辉, 张敏, 等. 裂解热模拟实验中碳同位素变化特征及其地球化学意义[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(6): 1029-1039.
- TANG Xiaoqiang, HUANG Guanghui, ZHANG Min, et al. Stable carbon isotope compositions of gaseous hydrocarbons in pyrolysis experiment and geochemical significance[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(6): 1029-1039.
- [22] 李友川, 孙玉梅, 兰蕾, 等. 用乙烷碳同位素判别天然气成因类型存在问题探讨[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(4): 654-660.
- LI Youchuan, SUN Yumei, LAN Lei, et al. Discussion on the recognition of gas origin by using ethane carbon isotope[J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(4): 654-660.
- [23] 李剑, 谢增业, 张光武, 等. 川西北地区下三叠统飞仙关组泥灰岩的油气及 H_2S 生成模拟实验研究[J]. 中国石油勘探, 2006, 11(4): 37-41.
- LI Jian, XIE Zengye, ZHANG Guangwu, et al. Thermal simulation experiment on generation of oil-gas and H_2S from marlite in Lower Triassic Feixianguan Formation in Northwestern Sichuan Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2006, 11(4): 37-41.

(编辑 修荣荣)